

PONTIFÍCIA UNIVERSIDADE CATÓLICA DE GOIÁS
ESCOLA DE CIÊNCIAS EXATAS E DA COMPUTAÇÃO

**TECNOLOGIA SUSTENTÁVEL APLICADA ÀS AERONAVES DA AVIAÇÃO
EXECUTIVA: PERSPECTIVAS PARA O BRASIL**

GOIÂNIA
2021

WELLINTON ALVES BARBOSA

**TECNOLOGIA SUSTENTÁVEL APLICADA ÀS AERONAVES DA AVIAÇÃO
EXECUTIVA: PERSPECTIVAS PARA O BRASIL**

Artigo Científico apresentado à Pontifícia Universidade Católica de Goiás como exigência parcial para a obtenção do grau de Bacharel em Ciências Aeronáuticas.

Professora Orientadora: Esp. Tammyse Araújo da Silva .

GOIÂNIA
2021

WELLINTON ALVES BARBOSA

**TECNOLOGIA SUSTENTÁVEL APLICADA ÀS AERONAVES DA AVIAÇÃO
EXECUTIVA: PERSPECTIVAS PARA O BRASIL**

GOIÂNIA-GO, 07/06/2021.

BANCA EXAMINADORA

Esp. Tammyse Araújo da Silva _____ CAER/PUC-GO _____
Assinatura Nota

Dr. Humberto César Machado _____ CAER/PUC-GO _____
Assinatura Nota

Me. Raul Francé Monteiro _____ CAER/PUC-GO _____
Assinatura Nota

TECNOLOGIA SUSTENTÁVEL APLICADA ÀS AERONAVES DA AVIAÇÃO EXECUTIVA: PERSPECTIVAS PARA O BRASIL

SUSTAINABLE TECHNOLOGY APPLIED TO EXECUTIVE AVIATION AIRCRAFT: PERSPECTIVES FOR BRAZIL

Wellinton Alves Barbosa¹
Tammyse Araújo da Silva²

RESUMO

O aumento da concentração de dióxido de carbono (CO₂) na atmosfera advém de setores como indústria, transportes e outras atividades econômicas, além de outras ações antrópicas. No transporte aéreo, o tipo de combustível utilizado pela maioria das aeronaves contribui para este aumento. Estudos da União Europeia datados de 2004 já apontavam que 3% das emissões de CO₂ na atmosfera terrestre eram resultado da aviação internacional. O principal contribuinte para essas emissões é o combustível utilizado nas aeronaves, originário do petróleo, amplamente adotado por todos os segmentos da aviação. Em razão disso, esta pesquisa teve por objetivo identificar as tecnologias sustentáveis usadas ou em vias de ser utilizadas nas aeronaves da aviação executiva, que visam transformá-las em um meio de transporte mais limpo, assim como verificar o nível de aplicabilidade dessas tecnologias neste segmento em âmbito nacional. Para este estudo, foi adotada uma metodologia descritiva e qualitativa de procedimentos documental e bibliográfico, a partir da qual foi possível concluir que tal tecnologia na composição do combustível já é uma realidade, por meio do chamado SAF. Este composto tem atualmente 50% de óleo de cozinha ou óleo de palma e 50% de querosene fóssil, o que o torna menos poluente. Caso o combustível empregado na aviação fosse 100% SAF, a redução das emissões de CO₂ provenientes do motor aeronáutico seria na casa de 80%. Para acelerar a utilização de combustível de aviação sustentável em sua totalidade, Airbus, Roll-Royce e NESTE realizaram testes com o *Pearl 700*, abastecido com 100% SAF; como resultado, comprovou-se a redução de 75% nas emissões de CO₂. Este teste servirá para a obtenção da certificação correspondente. Também foi constatado que a dosagem atual de combustível limpo (50%) pode ser utilizada no traslado de algumas das aeronaves da aviação executiva no Brasil, tais como *Challenger 350 e 650*, *Global 7500*, *6500 e 6000*, *Gulfstream G280*, *Beechcraft e Cessna*. Além disso, foi evidenciado que há em andamento inúmeros projetos voltados para aeronaves sustentáveis, como o *HyperStar*, *AS2*, *S-512*, *Celera 500L*, *Alice* e o eVTOL, cujos motores transitam entre híbridos, gás e elétricos. Ademais, a primeira aeronave (*Pipistrel Velis Electro*) certificada com motor elétrico foi homologada em 2020 e, embora seja voltada para a instrução, aponta para a expectativa de que outros segmentos possam obter a mesma certificação. Por fim, recomenda-se que seja feito um mapeamento junto ao RAB de todas as aeronaves utilizadas na aviação executiva aptas a adotarem o biocombustível com a finalidade de verificar o quão perto de uma aviação menos poluente o Brasil está.

¹ Graduando em Ciências Aeronáuticas, Empresário. Endereço eletrônico: wellintonjr@hotmail.com

² Especialista em Docência Universitária pela Universidade Católica de Goiás. Graduanda em Ciências Aeronáuticas pela UnisulVirtual. Professora das Ciências Exatas e da Computação no curso de Ciências Aeronáuticas da Pontifícia Universidade Católica de Goiás. EC-PREV pelo CENIPA. Credenciada no SGSO pela ANAC. Endereço eletrônico: tammyse@hotmail.com/tammyse@pucgoias.edu.br.

Palavras-chave: Aviação executiva do futuro; impactos ao meio ambiente; redução de gases; aviação limpa.

ABSTRACT

The rising of carbon dioxide (CO₂) concentrations in atmosphere is a result of several sectors such as industry, transport and other economic activities, besides other anthropic actions. In air transport, the type of fuel used by most aircraft contributes to this increase. European Union studies from 2004 pointed out that 3% of CO₂ emissions were the result of international aviation. The main contributor to these emissions is the aviation fuel originated from oil, widely adopted by all aviation segments. Therefore, this research aimed to identify the sustainable technologies used or about to be used in executive aviation aircraft that intend to transform it into a clean transport, as well as to verify the level of applicability of these technologies in this segment in Brazil. A descriptive and qualitative methodology of documentary and bibliographic procedures was adopted, from which it was possible to conclude that such technology in fuel composition is already a reality: the Sustainable Aviation Fuel (SAF). This compound is currently 50% cooking oil or palm oil and 50% fossil kerosene, which makes it less polluting. If the aviation fuel was 100% SAF, the reduction in CO₂ emissions from aeronautical engine would be around 80%. To speed up the use of entire sustainable aviation fuel, Airbus, Roll-Royce and NESTE conducted tests with Pearl 700, fueled with 100% SAF; as a result, a 75% reduction in CO₂ emissions has been proven, test that will be adopted to obtain the corresponding certification. It was also found that current dosage of clean fuel (50%) can be used in transfer of some executive aviation aircraft in Brazil, such as Challenger 350 and 650, Global 7500, 6500 and 6000, Gulfstream G280, Beechcraft and Cessna. It was also shown that there are in progress some projects directed to sustainable aircraft, such as HyperStar, AS2, S-512, Celera 500L, Alice and eVTOL, with hybrids, gas and electric's engines. It was also shown that there are in progress some projects directed to sustainable aircraft, such as HyperStar, AS2, S-512, Celera 500L, Alice and eVTOL, with hybrids, gas and electric engines. In addition, the first aircraft (Pipistrel Velis Electro) certified with an electric motor was homologated in 2020 and, although it is used in the air instruction, it points to the expectation that other segments may obtain the same certification. Finally, it is recommended that a mapping be done in the RAB of all aircraft used in executive aviation capable of using biofuel in order to verify how close Brazil is in direction of less polluting aviation.

Keywords: Executive aviation in future; impacts to the environment; gas reduction; clean aviation.

INTRODUÇÃO

As altas emissões de CO₂ para a atmosfera têm contribuído para o aumento do efeito estufa, fazendo com que a temperatura da Terra fique mais quente. Algumas atividades são responsáveis por emitir estes gases em demasia, entre elas, a aviação. Isto decorre do uso de combustível de aviação originário do petróleo, composto que, ao ser utilizado em motores aeronáuticos e suas queimas, produz CO₂, liberando-o na atmosfera e aumentando seu nível de concentração em patamares acima do aceitável.

À vista disso, este trabalho objetiva identificar as tecnologias sustentáveis que podem ser aplicadas às aeronaves da aviação executiva visando à redução dos graves efeitos causados à atmosfera em decorrência de suas operações. Além disso, a pesquisa também tem por objetivo verificar as perspectivas do uso dessas tecnologias para o cenário nacional.

Para a concretização dos objetivos propostos, optou-se por uma metodologia descritiva e qualitativa que busque nos procedimentos documental e bibliográfico sua base argumentativa. Assim, o estudo pauta-se em autores como Ávila e Martins, Fernandes, Penna e Santos, assim como em informações oficiais das empresas do setor, tais como a *Aerolin*, *Embraer*, *Flapper*, *HuperMarch*, *Otto Aviation*, *Spike Aerospace*, *Synerjet* e *Textron Aviation*. Completam o rol de consultados instituições como a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC), a Associação Brasileira de Aviação Geral (ABAG) e o Ministério dos Transportes, Portos e Aeroportos (hoje Ministério da Infraestrutura), entre outras.

A metodologia escolhida possibilita estruturar o estudo em cinco seções, além das considerações finais. A primeira, contextualiza a aviação executiva no Brasil. A segunda apresenta os aspectos ambientais associados à aviação, sobretudo, os relacionados à emissão de CO₂. A terceira seção apresenta as inovações tecnológicas na aviação sob a ótica ambiental. A quarta parte desenha as principais tecnologias sustentáveis aplicáveis à aviação executiva. A quinta, de sua feita, oferece um panorama sobre a aplicação dessas tecnologias na aviação executiva brasileira.

Espera-se com esta pesquisa demonstrar que há tecnologia sustentável ao alcance da aviação executiva brasileira e, ainda, reforçar que a sustentabilidade é condição necessária para o futuro das operações na aviação.

1 PANORAMA SOBRE A AVIAÇÃO EXECUTIVA NO BRASIL

1.1 Aviação executiva no Brasil: conceito e contemporaneidade

De acordo com Migon *et al.* (2011), o serviço prestado pela aviação executiva difere da aviação comercial em especial por ser dotado de conforto, privacidade, segurança e agilidade. Para Flapper (2020), as aeronaves de táxi-aéreo e os jatos particulares configuram duas faces da aviação executiva (inserida na aviação geral), sendo que a diferença reside nas regulamentações e práticas. Do ponto de vista de Santos (2003), a aviação geral – ou seja, os serviços aéreos especializados – são aqueles destinados a alguma atividade específica, como

agricultura, fotografia, vigilância, busca e salvamento, paraquedismo, entre outras, que podem ser realizadas por motivos comerciais ou particulares.

Na história mundial da aviação, os voos de passageiros foram mais evidenciados após as guerras mundiais, pois as aeronaves remanescentes dos conflitos ficaram disponíveis e foram evoluindo progressivamente, sendo introduzidas no transporte de passageiros e de cargas (LOFTIN, 1985).

Com o passar do tempo, houve o desenvolvimento de aeronaves mais modernas até a chegada a era do jato. Segundo Loftin (1985), os voos de jato comerciais tiveram início na década de 1950, enquanto os dos jatos executivos foram introduzidos a partir da década de 1960. Segundo o autor, desde então os principais modelos de aeronaves a jato que dominaram o mercado foram o quadrimotor *Lockheed JetStar*; *Learjet* modelos 24B e 25C; *Gales Learjet*, modelo 55, *Grumman Golfstream II*, *Cessna Citation I*, *Cessna Citation III*, entre outros. Para o Instituto Brasileiro de Aviação (IBA, 2020), no cenário contemporâneo nacional, a maioria das aeronaves utilizadas na aviação executiva é de jatos, turboélices ou motores turbofan, existindo variação de peso, tamanho, potência, entre outros fatores.

O Brasil é o terceiro país com maior número de aeronaves privadas executivas no mundo, estando 35% delas concentradas na cidade de São Paulo, berço das indústrias e executivos brasileiros. O estado do Mato Grosso detém a segunda posição em termos de número de aeronaves executivas, concentrando 260 somente nos ramos da agropecuária e agrícola (IBA, 2020).

De acordo com o IBA (2020), comparando a frota brasileira de aeronaves civis de 2018 à de 2019, houve um crescimento de 0,6%, com a integração de 124 novas aeronaves, totalizando uma frota de 22.278 aeronaves. Entretanto, até junho de 2020, esse número havia retraído em cerca de 0,1% como consequência da crise na aviação ocasionada pela Covid-19.

Por certo, a pandemia de Covid-19 afetou de forma significativa as operações da aviação civil no país. Entre os fatores que impactaram o setor, podem-se destacar as barreiras de segurança sanitária, os receios dos passageiros em relação ao contágio e o impacto econômico sentido pelos consumidores. A maior queda do setor ocorreu entre os meses de abril e maio de 2020. Passado o período mais acentuado de queda, os primeiros meses do segundo semestre já mostraram sinais de recuperação, porém, a retomada se deu de modo diferente para a aviação geral e para a comercial. A recuperação dos voos nas empresas regulares até os patamares de 2019 será mais tardia, enquanto a aviação geral e os serviços da aviação executiva seguem em alta, em razão de sua popularização propiciada pela demanda durante a pandemia (IBA, 2020).

Isto porque, diante da redução de oferta em voos das companhias aéreas, a Agência Nacional de Aviação Civil (ANAC, 2020a) aprovou, em caráter emergencial, que as empresas de táxi-aéreo possam vender assentos individuais para passageiros. A validade da regra é até sete de agosto de 2022. Esta medida, de acordo com o IBA (2020), contribuiu para a popularização dos serviços de táxi-aéreo, de modo que se observam o crescimento e o barateamento do transporte, sobretudo pela facilidade da venda de assentos via digital. Neste segmento, são 115 empresas autorizadas a realizar operações de táxi-aéreo no país.

A alta demanda por voos executivos, estimulada pela nova regra da ANAC, foi evidenciada pela Flapper, que divulgou em seu aplicativo, em 12 de maio de 2020, as estatísticas referentes às vendas de voos compartilhados por empresas de táxi-aéreo. Segundo a empresa, a oferta desse tipo de voo, em abril de 2021, cresceu 244% em relação ao mesmo mês de 2019 (período pré-pandemia), enquanto a oferta de assentos aumentou 232% também em abril de 2021 (AEROFLAP, 2021).

Segundo o IBA (2020), até junho de 2020, foram registradas 22.248 aeronaves civis, sendo 15.551 (somando-se às nove que mudaram de classificação) categorizadas como aviação geral, 6.011 como aviação experimental e 669 como aviação comercial. Esse total representa uma pequena queda de 0,1% da frota da aviação civil em relação a dezembro de 2019. O segmento mais afetado foi o da aviação comercial, que registrou 1% de queda no número de aeronaves no primeiro semestre de 2020.

A Tabela 1, a seguir, categoriza a frota nacional da aviação geral (IBA, 2020), considerando a frota da aviação geral por região até junho de 2020.

Tabela 1 – Frota Nacional da Aviação Geral até junho de 2020

Aeronave	Região					Total
	Norte	Nordeste	Centro-Oeste	Sudeste	Sul	
Convencional	1.541	840	2.951	3.872	1.940	11.144
Helicóptero	149	173	479	1.320	287	2.408
Turboélice	103	195	187	486	163	1.134
Jato	37	109	137	426	103	812
Anfíbio	22	1	6	12	3	44
Total	1.852	1.318	3.760	6.116	2.496	15.542

Fonte: adaptado de IBA (2020).

Geralmente a aviação executiva é composta, como já mencionado, de aeronaves turboélices e a jato (ANAC, 2020b). Dentre os modelos de aeronaves mais utilizados para a aviação geral, sobretudo, a executiva, destacam-se alguns descritos na Tabela 2.

Tabela 2 – Principais modelos de aeronaves utilizados na aviação geral no Brasil

Fabricante	Família/Aeronaves	O mais utilizado	Valor US\$ (2020)
Textron turboélices e jatos	Beechcraft: Bonanza, Baron e King Air Cessna Citation, Sovereign e Caravan Cessna Citation M2, Citation CJ3+, Citation CJ4 GEN2, Citation XLS+, Citation Latitude, Citation Longitude	O modelo <i>King Air</i> , aeronave turboélice, é mais utilizada na aviação executiva no Brasil, dados indicados nos registros de aeronavegabilidade válido, disponibilizado no Registro Aeronáutico Brasileiro (RAB); A Textron é a fabricante líder de jatos executivos; o mais vendido em 2020, pelo quinto ano consecutivo, foi o Cessna Citation Latitude.	Citation CJ4 GEN2: 10,75 milhões
EMBRAER Jatos	Phenom 100EV, Phenom 300E, Legacy 450, Legacy 500, Praetor 500, Praetor 600, Legacy 650E, Lineage 1000E	Todos têm boa aceitação mundial e nacional, mas o Phenom 300E, tem tecnologia para operações com um piloto (<i>single-pilot</i>) e é considerado de última geração.	Phenom 300E: 9,6 milhões
Bombardier Jatos	Learjet 75 Lyberty, Challenger 350, Challenger 650, Global 5000, Global 5500, Global 6000, Global 7500, Global 8000	Dessa fabricante, o modelo mais utilizado no Brasil e no mundo é o Lear Jet 75 liberty.	Lear Jet 75 liberty: 9,9 milhões

Fonte: adaptado de ANAC (2021a); *Textron Aviation* (2021); *Aeroflap* (2021); Empresa Brasileira de Aeronáutica (2021); *Bombardier* (2021); IBA (2020);

As aeronaves descritas na Tabela 2 são as mais conhecidas e utilizadas no Brasil, mas o mercado ainda oferece outras opções. Entre elas, o *Synerjet Pilatus PC-24* é o primeiro avião executivo de categoria Jato Super Versátil³ do mundo, sendo projetado para ser compatível com o estilo “off-road”, o que significa que pode operar tanto em pistas curtas

³ *Super Versatile Jet* (SVJ).

quanto nas não pavimentadas, oferecendo mobilidade (SYNERJET, 2021). A título de complemento, há o registro de 2.357 aeródromos privados cadastrados no Brasil, dos quais 402 operam jatos comuns e 1.008 não são pavimentados (ANAC, 2021b). Os 1.008 aeródromos não pavimentados podem oferecer oportunidade de mercado para operações do PC-24.

Ademais, as oportunidades para aeronaves da aviação executiva podem ocorrer de diversas formas, inclusive em tempos de crise, como o experimentado atualmente. Assim, de acordo com o IBA (2020), embora as ofertas de voos regulares/comerciais em todo país tenham retraído e muitas cidades ficado sem operar voos regulares, a procura pela aviação de pequeno porte e executiva aumentou em 2020, devido justamente à pandemia.

Desse modo, a aviação geral (incluindo a executiva) é capaz de conectar regiões remotas, beneficiando os dois lados conectados, pois, nos locais remotos, a presença deste serviço significa investimento, acesso a serviços de melhor qualidade, como saúde, educação, entre outros. Ademais, nos grandes centros, propicia o acesso a negócios mais distantes, atratividade e investimentos (IBA, 2020).

Porém, apesar desses inúmeros benefícios, a aviação contribui com uma parcela significativa de impactos ambientais causados no planeta, à medida que é responsável por parte da liberação de CO₂ na atmosfera, impulsionando o efeito estufa e o aquecimento global. Sobre tais aspectos, discorre-se a seguir.

1.2 Aspectos ambientais associados à aviação e seu desdobramento sobre a redução do CO₂

De acordo com Fernandes (2020), os gases poluentes (ou gases do efeito estufa – GEE) existentes na atmosfera são explicados pela presença de fábricas, múltiplos meios de transporte e outras atividades econômicas. Tais gases, se emitidos em níveis acima dos aceitáveis, podem causar doenças e afetar de forma grave a saúde de uma pessoa. Essas composições gasosas envolvem o planeta e absorvem parte da radiação infravermelha refletida pela superfície terrestre, dificultando a saída da radiação para o espaço, fazendo com que a superfície terrestre aqueça, o chamado efeito estufa. Sousa (s.d.) elucida que o efeito estufa é um fenômeno natural de extrema importância para a existência e manutenção da vida na Terra, uma vez que é responsável por manter as temperaturas médias globais, evitando que haja grande amplitude térmica e possibilitando, desse modo, o desenvolvimento dos seres

vivos. No entanto, a elevação das emissões dos gases do efeito estufa na atmosfera agrava o fenômeno, provocando as alterações climáticas e os danos à saúde mencionados. Entre os maiores responsáveis pelo aumento deste efeito estão o carbono e o metano, cujas emissões em níveis elevados são frutos da ação antrópica.

As empresas de aviação são responsáveis por parte da produção de gases que compõem o GEE, pois são clientes recorrentes da indústria petrolífera. Cada barril de petróleo contém 43% de gasolina de automação, 23% de diesel e petróleo, 16% dos óleos lubrificantes e asfaltos, 11% de resíduos e 7% de querosene e gasolina de aviação. Levantamentos de 2004 da União Europeia indicaram que a aviação internacional já era, na época, responsável pela emissão de 3% do dióxido de carbono (CO₂) e que entre 1990 e 2004 estas emissões aumentaram em 85%, valores superiores ao transporte marítimo e doméstico/terrestre (FERNANDES, 2020).

Pires (2012) *apud* Fernandes (2020) ressalta que as emissões de GEE pelas aeronaves devido às altitudes alcançadas produzem maior efeito sobre as mudanças da composição da atmosfera, causando efeitos químicos, devido, em especial, ao querosene de aviação. Desta forma, muitas discussões sobre o tema voltam-se para a substituição do querosene por outro combustível menos poluente e que atenda à demanda mundial.

Por certo, devido à preocupação mundial sobre as questões ambientais, o setor aéreo tem sido discutido, principalmente no que se refere aos projetos das aeronaves quanto a concepção, desenvolvimento, fabricação e operação, bem como seus efeitos ambientais e de eficiência. (PIRES, 2012 *apud* FERNANDES, 2020).

Com efeito, para Pires (2012) *apud* Fernandes (2020), considerando-se a possibilidade que as alterações climáticas também decorrem do impacto da aviação sobre o meio ambiente, é necessário promover a sustentabilidade ambiental do setor por meio da melhoria do desempenho das aeronaves de forma sistemática, tema que vem despertando o interesse de fabricantes em todo mundo.

Assim, novas tecnologias estão sendo criadas no intuito de evoluir os modelos de aeronaves em termos de melhorias aerodinâmicas, eficiência dos motores e uso de materiais mais leves. No cenário nacional, quanto às questões relacionadas à eficiência energética das aeronaves, a Empresa Brasileira de Aeronáutica (EMBRAER) tem investido em pesquisas de tecnologia e inovação, objetivando criar motores que utilizem combustíveis sustentáveis (ANAC, 2019).

Ainda segundo a Anac (2019), a experiência brasileira em biocombustíveis, sobretudo com etanol e biodiesel tem se mostrado de grande utilidade. O clima brasileiro favorece a

cadeia produtiva dessa matéria-prima, o que é de importância para o desenvolvimento socioeconômico para o país. A Agência (2019, p. 9) complementa: “No setor de transportes, a necessidade de ganhos de eficiência conjuga-se com os objetivos de segurança energética e de redução das emissões, gerando incentivos substanciais à substituição de fontes de energia.” A implantação de uma matriz energética sustentável é a estratégia mais importante para neutralizar as emissões de CO₂ a longo prazo.

Além desta medida, outras têm sido adotadas no Brasil desde 2016 visando minimizar os impactos causados ao meio ambiente, tais como: aproximações mais longa utilizando um grau com menor de *flap* no pouso e, diminuição na utilização dos reversores, utilização de apenas um motor durante o taxiamento, entre outras. Estas ações se tornaram rotina nas operações e promoveram uma redução nas emissões de CO₂ na ordem de 1.770.828 toneladas, considerando as operações domésticas e internacionais (ANAC, 2019).

Segundo a ANAC (2019), o Brasil regulamentou obrigações relacionadas ao Monitoramento Reporte e Verificação (MRV) das emissões de CO₂ nas operações internacionais por meio da Resolução ANAC nº 496/2018 e da Portaria nº 4.005/ASINTI/2018. Está previsto, depois da implantação do CORSIA⁴ no Brasil, que cerca de 9 milhões de toneladas de CO₂ serão reduzidos pelas empresas Brasileiras até 2035. Assim, a política setorial deve prezar por um transporte aéreo que se seja social e ambientalmente responsável (ANAC, 2019).

2 AS INOVAÇÕES TECNOLÓGICAS APLICÁVEIS À AVIAÇÃO EXECUTIVA

2.1 As inovações tecnológicas na aviação sob a ótica ambiental

Observa-se um crescimento quantitativo nos protótipos de aeronaves de pequeno porte com foco em curta e média distâncias. Tais protótipos utilizam, em termos de propulsão, motores elétricos que não demandam grandes infraestruturas para pousos e decolagens, pois podem operar na vertical, isto é, com *Vertical Take Off and Landing* (VTOL)⁵. Em razão

⁴ *Carbon Offsetting and Reduction Scheme for International Aviation* (CORSIA), medida de mercado global para compensação simples das emissões em voos internacionais que ultrapassem os níveis de 2020 (ANAC, 2019).

⁵ VTOL é ascensão de uma aeronave, partindo do solo ou água, sem necessariamente ter que percorrer qualquer espaço horizontal (DUTRA, 1979).

destas características, estas aeronaves abrem possibilidades de melhoria do transporte urbano e regional (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, PORTOS E AVIAÇÃO CIVIL, 2018).

As aeronaves com motor elétrico são equipamentos que variam de formas, tamanhos, características operacionais e capacidades de passageiros e, ainda que a indústria não as produza em escala comercial, estudos apontam crescimento no seu uso nos próximos anos, sobretudo porque trazem mobilidade e custo bastante inferior, se comparado às aeronaves a jato convencionais. Nestes jatos, o custo da hora voada é de, aproximadamente, US\$ 2.100, enquanto em uma aeronave elétrica de nove passageiros o valor cai para US\$ 200 (EVIATION, 2021; MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, PORTOS E AVIAÇÃO CIVIL, 2018).

Estudos voltados aos desenvolvimentos tecnológicos tendem a melhorar também o alcance dessas aeronaves, como nos modelos híbridos (elétricos e combustão) e modelos a gás que se utilizam de hidrogênio. Cabe, por oportuno, uma breve explicação sobre o uso do hidrogênio: na composição do motor, têm-se quatro componentes: reservatório (para armazenar com segurança o hidrogênio líquido), célula de combustível (para converter o hidrogênio em eletricidade), um dispositivo (que controla as células) e um motor (que aciona as hélices) (DEMARCO, 2020). Em 2008, a Boeing provou que o hidrogênio pode ser utilizado na aviação, ao voar – em aeródromo próximo a Madri, na Espanha – seu primeiro protótipo, uma aeronave de apenas um lugar. Em 2016, a empresa alemã H₂FLY criou uma aeronave de 6 a 19 lugares movida a hidrogênio. Esta aeronave tem um alcance de 1.500 quilômetros e velocidade máxima de 370 km/h e pode ser utilizada na aviação executiva a baixo custo. Segundo a empresa, suas operações estão previstas para 2027 (DEMARCO, 2020).

Ressalta-se que aeronaves movidas a motores híbridos ou a gás ainda podem ser poluentes para a natureza; entretanto, se adicionar um agente redutor de emissões, conhecido como Arla 32 (similar à ureia líquida, já adotada em caminhões), haverá a neutralização em torno 95% do monóxido de NO_x gerado pela queima dos gases de hidrogênio (PRASHANTH, 2021).

A energia solar pode ser outra opção. A Terra é banhada de, aproximadamente, 885 milhões de *terawatts*-hora por ano. Empresas como a Airbus têm estudado formas para colher essa fonte alternativa de energia e aplicá-la a voos estratosféricos. A ideia é desenvolver painéis fotovoltaicos avançados, mais leves e flexíveis, capazes de capturar e converter essa energia para o funcionamento de motores e alimentação dos equipamentos a bordo da

aeronave. A alimentação viria de um sistema de armazenamento de energia que permitiria voos noturnos com autonomia ilimitada (AIRBUS, 2021).

Observa-se que, com a indústria 4.0, todas as mudanças adotadas para atender ao mercado e às expectativas dos clientes estão impactando radicalmente o modo como as aeronaves estão sendo projetadas e fabricadas. Há, portanto, uma tentativa de construir aeronaves que atendam ao mais alto padrão de qualidade, ao mesmo tempo que utilizem uma matriz energética limpa (AIRBUS, 2021).

2.2 Tecnologias sustentáveis aplicáveis à aviação executiva

A *National Aeronautics and Space Administration*⁶ (NASA) desenvolveu um programa chamado *Transformative Aeronautics Concepts Program*⁷ (TACP) para que pesquisadores testassem conceitos revolucionários e novas ideias. O TACP parte de um ambiente de experimentação o qual realiza testes de solo e de voo em escalas menores para identificar falhas, corrigir e aprender. Isto permite diminuir o tempo entre o conceito futurístico e a aplicação real que transforma aeronaves e aviação. Este programa oferece flexibilidade para os inovadores avaliarem a viabilidade de uma nova tecnologia (GIPSON, 2016).

Dentre as tecnologias inovadoras, algumas estão sendo desenvolvidas para aeronaves menores da aviação executiva e há projetos voltados, inclusive, para voos que atinjam ou superem a velocidade do som. São projetos ousados, como o jato executivo *HyperStar*, pensado para alcançar a velocidade de Mach⁸ 5.0. Importante ressaltar que aeronaves super ou hipersônicas afetam o meio ambiente em termos de ruído e, neste sentido, segundo a empresa, o *HyperStar* está sendo projetado para não oferecer problemas dessa natureza. Testes com esta aeronave foram realizados em 2020 e seu primeiro voo está previsto para 2030 (HIPERMACH, 2020).

Outro jato executivo projetado para não ter problemas com ruídos supersônicos é o AS2 da Aerion. O AS2 poderá atingir Mach 1.4 e, por isso, utilizará um sistema conhecido como *Boom Less Cruise*, que aproveita a fenomenologia atmosférica chamada *mach cut off*, na qual a explosão sônica refrata na camada de ar mais densa e quente. Esse sistema verifica onde a aeronave poderá atingir velocidades supersônicas e evita que o estrondo sônico atinja o

⁶ Administração Nacional Aeronáutica e Espacial

⁷ Programa de Conceitos de Aeronáutica Transformativa

⁸ Número de Mach Relação entre a velocidade verdadeira e a velocidade do som

solo, causando prejuízo ao meio ambiente. Estima-se que o AS2 irá custar em torno de 110 milhões de dólares (AERION, 2021).

Outro jato executivo de alta velocidade está sendo desenvolvido pela *Spike Aerospace*, o S-512, para 12 a 19 passageiros e, segundo a empresa, o voo entre Nova York e Londres será de pouco mais de três horas. Este percurso para uma aeronave comercial gasta, em média, seis horas e trinta minutos. O S-512 voará a Mach 1.6, porém, por ser silencioso, não causará problemas com ruído. Assim, os voos supersônicos silenciosos consistem, portanto, em excelente oportunidade para a aviação executiva. A previsão para seu ingresso no mercado é ainda nesta década de 2020 (SPIKE AEROSPACE, 2020).

Tal preocupação com os ruídos dos supersônicos, para a *Federal Aviation Administration* (FAA, 2021), é um problema desde a criação destas aeronaves que, além de ruidosas, consumiam muito combustível e eram caras para serem mantidas, o que levou ao cancelamento das suas operações. Segundo Mileski e Faria (s. d.), em 2003 foi realizado o último voo comercial civil supersônico do Concorde. Porém, em razão dos novos projetos supersônicos mais limpos, foi preciso arquitetar oportunidades espaciais para testar tais projetos. Por isso, em 6 de janeiro de 2021, a FAA (2021) criou um corredor especial a 39 mil pés sobre o estado do Kansas (Estados Unidos da América) com a extensão de 1200 quilômetros para a realização de testes desses novos modelos de aeronaves futurísticas e supersônicas.

Há, ainda, outros projetos mais acessíveis a voos particulares em termos de eficiência aerodinâmica e redução na emissão de CO₂. Um exemplo é o *Celera 500L*, da *Otto Aviation*, cujo formato aerodinâmico proporciona um fluxo laminar com menor arrasto e, apesar de seu motor a diesel, o projeto foi pensado para reduzir cerca de 80% nas emissões de CO₂ e voar a Mach 0.66. Considerando que tanto a FAA quanto a *International Civil Aviation Organization* (ICAO) estipularam que, a partir de 2031, as aeronaves devem ser capazes de reduzir em 31% as emissões de CO₂, o *Celera 500L* já foi pensado para esta redução. Paralelamente, a empresa está desenvolvendo motores elétricos e híbridos para os modelos futuros desta aeronave (OTTO AVIATION, 2021).

O *Celera 500L*, devido ao seu formato aerodinâmico, tornou-se o projeto de aeronave mais seguro do mundo, pois sua taxa de planeio é de 1/22⁹, enquanto nas aeronaves comuns é de 9/1. O custo da hora voada é de US\$ 320, gerando uma economia significativa frente aos

⁹ A taxa de planeio ou razão de planeio é a relação entre a altura e a distância que uma aeronave pode percorrer até um determinado ponto. Uma razão de planeio 1/22 significa que a cada 22 metros à frente a aeronave desce 1.

US\$ 2.100 das aeronaves convencionais, e isto a fará mais acessível à aviação executiva para até seis passageiros. A previsão de produção em escala está prevista para 2023 a 2025 (OTTO AVIATION, 2021).

O projeto do *Alice*, da *Eviation*, aeronave eletrônica para nove passageiros e dois tripulantes, pretende voar a uma velocidade de 220KT (nós). Composta de três motores elétricos e uma bateria de íon de lítio (NMC), que pesa 3600 quilos (NMC), a aeronave foi desenvolvida com a participação de 21 países com componentes inovadores e terá Europa e Estados Unidos da América como os primeiros clientes. Segundo a empresa, o custo da hora voada do *Alice* será de US\$ 200,00, inferior às praticadas pelo *Celera 500L*. A empresa estima que até 2025 essa tecnologia ingressará no mercado (EVIATION, 2021).

Essa evolução para aeronaves mais sustentáveis, eficientes e menos poluentes, de motores elétricos, cria outra discussão sobre suas baterias. Para Silveira (2015), somente cerca de 30% da energia liberada na combustão da gasolina é convertida em energia mecânica em um motor convencional. Já nos elétricos, além de serem menos poluentes, são muito mais eficientes na conversão da energia estocada na bateria, atingindo facilmente 80% ou mais de eficiência. Sobre as baterias de íon de lítio, Penna (2011) diz que elas têm ciclo de vida longo e são mais rápidas de carregar e mais lentas para descarregar.

Um problema dessas baterias é o impacto ambiental causado pelo seu descarte irregular, principalmente as de íons-lítio e as de níquel-hidreto metálico, que podem pegar fogo ou explodir, caso sejam danificadas pelo processo de descarte e misturadas ao lixo doméstico (ECYCLE, 2021).

Quando não há mais íons de lítio para serem transportados, a reação química acaba fazendo com que a energia da bateria se esgote e, nesse nível, ela se torna inutilizável. Desde 1970, há preocupação sobre o descarte desse material, altamente tóxico e prejudicial à saúde e ao meio ambiente. Os descartes devem ser realizados, portanto, de modo que estas baterias sejam recicladas e reutilizadas para não impactar o meio ambiente (ÁVILA; MARTINS, 2017).

Essas baterias podem passar por um processo de reação química que recupera sais e óxidos metálicos, podendo alguns deles ser reutilizados como matéria-prima, como, por exemplo, o zinco que, ao ser separado e recuperado, pode ser reutilizado na confecção de novas baterias. Ademais, todos os eventuais resíduos do processo de recuperação são tratados e destinados a outras produções, como a de cimento (GREEN ELETRON, 2019).

2.3 Perspectivas de adoção das tecnologias sustentáveis na aviação executiva brasileira

Como visto, a indústria aeronáutica está entrando em uma nova era tecnológica que irá ofertar aeronaves inteligentes e sustentáveis ao mercado. A nova frota que substituirá a atual precisará de menor manutenção e será mais eficiente em termos do uso de combustível. Na perspectiva de mudança, em 2025 estima-se que cerca de 73% das aeronaves serão substituídas. De acordo com a Airbus, a maior fabricante de aeronaves da Europa, em 2036 o número de aeronaves no mundo irá dobrar, passando de 23.800 para 42.700, entre essas, aproximadamente 12.870 aeronaves serão substituídas (RONIERI, A.; ESMANHOTO, L. G.; ALMEIDA, 2018).

Na linha das transformações e considerando que os helicópteros utilizados para voos executivos (que decolam e pousam verticalmente) operam com alto custo e são poluentes de CO₂ e de ruídos (COSTA, 2017), a Embraer X, em conjunto com a UBER¹⁰, está desenvolvendo um novo sistema de táxi-aéreo elétrico usando o conceito de VTOL: o eVTOL, Veículo Voador Elétrico para uso urbano (EMPRESA BRASILEIRA DE AERONÁUTICA, 2019). Este projeto visa ofertar transporte limpo e acessível a mercados como o de São Paulo, cujo trânsito intenso, segundo Diógenes (2016), faz com que o paulistano perca duas horas por dia no seu traslado.

A aeronave da Embraer X terá seu projeto finalizado para 2024 e transportará um piloto e quatro passageiros. Entre as suas características, destacam-se a altitude de voo de 2.600 a 3.300 pés e motores elétricos alimentados por baterias que podem ser carregadas em apenas cinco minutos entre o intervalo entre as viagens (RONIERI; ESMANHOTO; ALMEIDA, 2018).

Cabe ressaltar que a tecnologia precisa ser desenvolvida em harmonia com as regras estipuladas com o poder público, que, por sua vez, deve acompanhar essas tendências inovadoras. À vista disso, é necessário planejamento de médio e longo prazo por parte dos responsáveis pelas políticas públicas com vistas à regulamentação técnica do setor do transporte aéreo, pois o uso dessas tecnologias em áreas urbanas impacta a sociedade como um todo. Além de diretrizes, serão necessários investimentos em infraestrutura e requisitos para garantir as práticas operacionais, considerando que aeronaves operando VTOL, sobretudo em baixos níveis, tendem a aumentar as responsabilidades dos agentes públicos

¹⁰ Empresa de transporte, entrega de alimentos, táxi e transportes colaborativo *peer-to-peer* (pessoa por pessoa).

fiscalizadores, pilotos e operadores (MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, PORTOS E AVIAÇÃO CIVIL, 2018).

Desta forma, a Embraer X estuda com controladores de tráfego aéreo, pilotos, especialistas e acadêmicos formas de desenvolver planos locais de pousos e decolagens, monitoramento, fiscalização, limites de altitude, entre outros aspectos, para colocar em prática os eVTOL. O espaço aéreo urbano do futuro será estruturado com rotas corredores e limites que definirão onde a aeronave pode voar. Estas estruturas preverão os fluxos de tráfego para mitigar os riscos à segurança de voo. A década de 2020 será decisiva para o crescimento e aceitação do VTOL, pois é nesse futuro próximo que os padrões de segurança, proteção e desempenho serão definidos para o conceito de tráfego aéreo urbano (AIRSERVICES AUSTRALIA/EMBRAER BUSINESS INNOVATION CENTER, 2020; EMBRAER BUSINESS INNOVATION CENTER, 2019).

Enquanto a eVTOL da Embraer X ainda não está disponível, outras aeronaves aceitas no mercado nacional já compõem uma frota mais sustentável, principalmente no que se refere ao combustível. É o caso dos jatos executivos *Challenger 350* e *650* que, segundo a Associação Brasileira da Aviação Geral (ABAG, 2019), podem ser abastecidos com combustível de aviação sustentável (*Sustainable Aviation Fuel – SAF*)¹¹ em seus voos de traslados. A *Bombardier* está intensificando seu compromisso com a redução nas emissões de CO₂, utilizando SAF nos *Challenger*, assim como nos *Global 7500*, *6500* e *6000*.

Outro jato executivo com potencial para ser abastecido com SAF é *Gulfstream G280* (LUNA, 2020). A fabricante *Textron Aviation* oferece o voo traslado de seus aviões, como os turboélices da *Beechcraft* e *Cessna*, além dos jatos abastecidos com SAF, de acordo com a ABAG (2020).

Importante ressaltar que os motores dos aviões só podem funcionar com uma mistura máxima de 50% de SAF e querosene fóssil, porém, a Airbus, a Roll-Royce e a fabricante de combustível NESTE fizeram testes com combustível 100% SAF em motor de aviação executiva, o *Pearl 700*, e concluíram que os motores atuais de jatos civis e executivos podem operar com combustível de aviação sustentável em sua totalidade. O uso de 100% SAF no *Pearl 700* comprovou uma redução de 75% nas emissões de CO₂ se comparado ao combustível convencional. Os testes despertaram a busca por certificação do uso integral de 100% SAF, acelerando a possibilidade de chegar ao mercado brasileiro ainda em 2021 (MEDEIROS, 2021; PAIXÃO, 2021).

¹¹ Alguns SAFs usam óleos de cozinha e óleo de palma, enquanto outros dependem de resíduos sólidos. O uso 100%SAF, reduz as emissões de CO₂ em até 80%.

Em termos de certificação, em 2020 a primeira aeronave de pequeno porte com motor totalmente elétrico foi homologada pela Agência de Segurança da Aviação da União Europeia (EASA): o modelo *Pipistrel Velis Electro*, da *Pipistrel Aircraft*, para duas pessoas, destinado principalmente à instrução, mas que pode ser utilizado para outras operações. O *Pipistrel Velis Electro*, segundo a fabricante, é o primeiro passo para o uso comercial de aeronaves elétricas, necessário para viabilizar a aviação livre de emissões (DINIZ, 2020).

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este trabalho teve por objetivo identificar as tecnologias sustentáveis que podem ser aplicadas à aviação executiva, bem como demonstrar seu uso no cenário nacional. A partir desta idéia central, demonstrou-se que a classe de aeronaves executivas, inserida na aviação geral, foi o segmento que mais cresceu em 2020 e até meados de 2021, frente aos desafios causados pela pandemia da Covid-19. Este crescimento – na ordem de 244% em abril de 2021 em relação ao mesmo mês de 2019 – foi impulsionado, sobretudo, pela aprovação excepcional da ANAC para que táxis-aéreos pudessem vender assentos individuais a passageiros.

Neste contexto nacional, foram apresentadas as principais aeronaves utilizadas na aviação executiva, onde se destacam os turboélices e os jatos das fabricantes *Textron*, *Embraer* e *Bombardie*. Porém, estas aeronaves, como muitos outros aviões, também são responsáveis por parte da emissão de CO₂ à atmosfera, impulsionando o efeito estufa e o aquecimento global. Esta relação se deve ao fato de que o combustível utilizado na aviação é altamente poluente. Foi necessário que indústria, ICAO, empresas e demais participantes do setor aéreo discutissem a temática na intenção de desenvolver tecnologias capazes de oferecer um transporte aéreo mais limpo, bem como propor medidas para a redução nas emissões de CO₂. Tais medidas no Brasil incluíram, por exemplo, a diminuição no uso dos reversores e a utilização de apenas um motor no taxiamento.

Desse modo, projetos de aeronaves sustentáveis para a aviação executiva estão sendo desenvolvidos. Alguns estudos, em âmbito mundial e nacional, já apresentam aeronaves com motores híbridos (elétricos e combustão), a gás (hidrogênio) e totalmente elétricos, com alto padrão de qualidade e eficiência para a aviação executiva. Nesta seara, destacam-se projetos como o *HyperStar*, *AS2*, *S-512*, *Celera 500L*, *Alice* e o *eVTOL*. Todos estes modelos atendem ao previsto pela ICAO que estipulou que, a partir de 2031, a redução na emissão de CO₂ deve ser de pelo menos 31%.

Por outro lado, a maior diferença positiva nas emissões decorre da utilização de combustível SAF (cujo composto utiliza óleo de cozinha ou de palma, bem como resíduos sólidos) que, atualmente, é composto de uma mistura 50% sustentável e 50% querosene. Assim, a pesquisa comprovou que alguns aviões utilizados nas operações executivas no Brasil podem adotar o SAF em suas operações de traslado, como os *Challenger 350 e 650*, *Global 7500*, *6500 e 6000*, *Gulfstream G280*, *Beechcraft* e *Cessna*. É provável que a partir da certificação para o uso 100% SAF, prevista ainda para 2021, por meio dos testes com o *Pearl 700*, este combustível esteja mais presente nas aeronaves que operam em espaço aéreo nacional.

Destarte, a hipótese de que existe tecnologia sustentável ao alcance da aviação executiva brasileira se confirma, pois combustíveis menos poluentes já são uma realidade para algumas aeronaves utilizadas no país. Ademais, a pesquisa também reforça a necessidade de uma aviação mais limpa e menos poluente com vistas a não comprometer o futuro da temperatura do planeta. Por fim, recomenda-se como pesquisa futura um mapeamento de todas as aeronaves registradas no RAB que podem ter sua operação pautada no uso de combustível sustentável a fim de verificar o quão perto de uma aviação menos poluente o Brasil está.

REFERÊNCIAS

AERION. **AS2: A new era of sustainable supersonic flight**. 2021. Disponível em: <https://aerionsupersonic.com/as2/>. Acesso em: 15 abr. 2021.

AEROFLAP. **Após a liberação da ANAC, oferta de assentos de táxi-aéreo cresce 230%**. 2021. Disponível em: <https://www.aeroflap.com.br/apos-a-liberacao-da-anac-oferta-de-assentos-de-taxi-aereo-cresce-230/>. Acesso em: 14 maio 2021.

_____. **Textron Aviation lidera entregas de aeronaves executivas e da aviação geral em 2020**. 2021. Disponível em: <https://www.aeroflap.com.br/textron-aviation-lidera-entregas-de-aeronaves-executivas-e-da-aviacao-geral-em-2020/>. Acesso em: 25 mar. 2021.

AIRBUS. **Industry 4.0: a future-focused, inteligente and digital industrial ecosystem**. 2021. Disponível em: <https://www.airbus.com/innovation/industry-4-0.html>. Acesso em: 10 abr. 2021.

AGÊNCIA NACIONAL DE AVIAÇÃO CIVIL (ANAC). **Plano de ação para a redução das emissões de CO2 da aviação civil brasileira**. 2019. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/meio-ambiente/arquivos/PlanodeAo2019ptbr.pdf>. Acesso em: 23 mar. 2021.

_____. **ANAC autoriza venda de assentos por empresas de táxi-aéreo.** 2020a. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/noticias/2020/anac-autoriza-venda-de-assentos-por-empresas-de-taxi-aereo>. Acesso em: 15 mar. 2021.

_____. **Relatório anual de segurança operacional (RASO) – 2019.** 2020b. Disponível em: https://www.anac.gov.br/assuntos/paginas-tematicas/gerenciamento-da-seguranca-operacional/arquivos/RASO_2019.pdf. Acesso em: 15 mar. 2021.

_____. **Consulta por fabricante TA.** 2021a. Disponível em: <https://sistemas.anac.gov.br/aeronaves/consulta-rab-1-iframe-resposta-6.asp?textMarca=&selectHabilitacao=&selectIcao=&selectModelo=&selectFabricante=TA&extNumeroSerie>. Acesso em: 10 abr. 2021.

_____. **Localização geográfica – aeródromos civis brasileiros (públicos e privados).** 2021b. Disponível em: <https://www.anac.gov.br/assuntos/setor-regulado/aerodromos/localizacao-geografica>. Acesso em: 14 mar. 2021.

AIRSERVICES AUSTRALIA/EMBRAER BUSINESS INNOVATION CENTER. **Urbana air traffic management.** 2020. Disponível em: https://daflwcl3bnxyt.cloudfront.net/m/3dc1907d3388ff52/original/PPJ016561-UATM-Concept-of-Operations-Design_D11-FINAL.pdf. Acesso em: 11 maio 2021.

ÁVILA, A. P.; MARTINS, R. A. Destinação correta das baterias de celulares: um estudo de caso na cidade de Morrinhos – GO. In: I Simpósio Interdisciplinar em Ambiente e Sociedade: os desafios e perspectivas na relação homem/natureza/sociedade no século XXI, 2017, Morrinhos. **Anais eletrônicos...** Morrinhos: UEG, [2017]. Disponível em: <https://www.anais.ueg.br/index.php/sias/article/view/12006>. Acesso em: 2 maio 2021.

BOMBARDIER. **Learjet 75 Liberty.** 2021. Disponível em: <https://businessaircraft.bombardier.com/en/aircraft/learjet-75-liberty#!#bba-pdp-section-1>. Acesso em: 26 mar. 2021.

COSTA, M. A. S. **Ruído de helicóptero na cidade de São Paulo.** 2017. Disponível em: http://brasilengenharia.com/portal/images/stories/revistas/edicao_633/mat_acustica_633.pdf. Acesso em: 10 maio 2021.

DINIZ, R. **Acontece a primeira certificação no mundo de uma aeronave totalmente elétrica.** 2020. Disponível em <https://www.aeroin.net/easa-anuncia-primeira-certificacao-mundo-aviao-totalmente-eletrico/>. Acesso em: 11 maio 2021.

DIÓGENES, J. **Por ano, paulistano passa, em média, 1 mês e meio preso no trânsito.** 2016. Disponível em: <https://sao-paulo.estadao.com.br/noticias/geral,por-ano-paulistano-passa-em-media-1-mes-e-meio-presno-no-transito,10000076521>. Acesso em: 11 maio 2021.

DUTRA, L. C. e S. Glossário aerotécnico **QUE PALAVRA VC PESQUISOU NO GLOSSÁRIO?** 1979. Disponível em: https://www2.anac.gov.br/anacpedia/por_ing/tr4664.htm. Acesso em: 3 abr. 2021.

DEMARCO, M. **Aviões de hidrogênio podem ser o futuro da aviação.** 2020. Disponível em: <https://www.eet.eng.br/avioes-de-hidrogenio-podem-ser-o-futuro-da-aviacao/>. Acesso em: 30 abr. 2021.

ECYCLE. **Como fazer o descarte de pilhas e baterias?** 2021. Disponível em: <https://www.ecycle.com.br/descarte-de-pilhas/>. Acesso em: 10 mar. 2021.

EDP NEWS. **Embraer e EDP se unem na pesquisa do avião elétrico.** 2020. Disponível em: <https://brasil.edp.com/pt-br/embraer-e-edp-se-unem-na-pesquisa-do-aviao-eletrico>. Acesso em: 13 maio 2021.

ELECTRIC VEHICLES RESEARCH. **Zunum aero's electric airplane just got its first customer.** 2018. Disponível em: <https://www.electricvehiclesresearch.com/articles/14371/zunum-aeros-electric-airplane-just-got-its-first-customer>. Acesso em: 10 maio 2021.

EMPRESA BRASILEIRA DE AERONÁUTICA S.A (EMBRAER). **EmbraerX revela novo conceito de veículo voador para a mobilidade aérea urbana do futuro.** 2019. Disponível em: <https://embraerx.embraer.com/br/pt/noticias?slug=1206635-embraerx-revela-novo-conceito-de-veiculo-voador-para-a-mobilidade-aerea-urbana-do-futuro>. Acesso em: 5 maio 2021.

_____. **Phenom 300E.** 2021. Disponível em: https://daflwcl3bnxyt.cloudfront.net/m/35b48c81d5777884/original/Phenom300E_brochure_LOW.pdf. Acesso em: 10 mar. 2021.

EMBRAER BUSINESS INNOVATION CENTER. **Flight plan 2030: na air traffic management concept for urban air mobility.** 2019. Disponível em: https://daflwcl3bnxyt.cloudfront.net/m/72d6ed98a71cb43f/original/200702_AF_EMBX_White_Paper_DM.pdf. Acesso em: 12 maio 2021.

EVIATION. **Alice commuter 2024.** 2021. Disponível em: <https://www.eviation.co/aircraft/#Alice>. Acesso em: 2 abr. 2021.

FEDERAL AVIATION ADMINISTRATION (FAA). **Special flight authorizations for supersonic aircraft.** 2021. Disponível em: https://www.faa.gov/news/media/attachments/SFA_Supersonic_Final_Rule.pdf. Acesso em: 11 abr. 2021.

FERNANDES, D. A. A aviação comercial como agente de poluição ambiental: influências no direito à vida humana saudável. **Direito & Paz**, São Paulo, Lorena, ano XIII, n. 42, p. 4-20, set. 2020. Disponível em: <http://revista.unisal.br/lo/index.php/direitoepaz/article/view/1072>. Acesso em: 23 mar. 2021.

FLAPPER. **As principais diferenças entre voos particulares e táxi aéreo.** 2020. Disponível em: <https://www.flyflapper.com/stories/pt-br/diferencas-entre-voos-particulares-e-taxi-aereo/>. Acesso em: 11 mar. 2021.

GIPSON, L. **Transformative aeronautics concepts program (TACP).** 2016. Disponível em: <https://www.nasa.gov/aeroresearch/programs/tacp/description/>. Acesso em: 9 abr. 2021.

GREEN ELETRON. **Como é feita a reciclagem de pilhas e baterias?** 2019. Disponível em: <https://greeneletron.org.br/blog/reciclagem-pilhas-baterias/>. Acesso em: 6 maio 2021.

HIPERMACH. **HyperMach aerospace industries, inc.** 2020. Disponível em: <http://www.hypermachaerospaceholdings.com/hypermach-aerospace-industries-inc/>. Acesso em: 9 abr. 2021.

HONEYWELL. **Electric & hybrid-electric propulsion.** 2021. Disponível em: https://aerospace.honeywell.com/en/learn/products/electric-power/hybrid-electric-electric-propulsion?utm_source=google&utm_medium=paid_search&utm_campaign=21_BTI_ElectricPropulsion&utm_term=bti_electric_propulsion&utm_content=electric_propulsion&skwcid=AL!7892!3!494421297260!b!!g!!electric%20aircraft%20companies&gclid=Cj0KCQjwvYS EBhDjARIsAJMn0lgfcrV1ZpgXd8NDaZkkrNyk4_1YgzUIgvImKgPzgceDmq1r0EapcaAr9hEALw_wcB. Acesso em: 12 maio 2021.

INSTITUTO BRASILEIRO DE AVIAÇÃO (IBA). **Anuário brasileiro de aviação civil 2020.** 2020. Disponível em: <https://www.institutoaviacao.org/download/anuario2020.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2021.

JSX. **The experience.** 2021. Disponível em: <https://www.jsx.com/flying-with-us>. Acesso em: 10 maio 2021.

LOFTIN, L. K. **Quest for performance: the evolution of modern aircraft.** [livro *online*]. 1985. Disponível em: <https://history.nasa.gov/SP-468/contents.htm>. Acesso em: 10 mar. 2021.

MILESKI, A.; FARIA, A. **A volta dos supersônicos.** (s. d.). Disponível em: <https://super.abril.com.br/especiais/a-volta-dos-supersonicos/>. Acesso em: 16 abr. 2021.

MIGON, M. N. et al. **Panorama-síntese da aviação executiva a jato.** [online]. Aéreo BNDES Setorial, Brasília, v. 34, p. 95-132, 2011. Disponível em: https://web.bndes.gov.br/bib/jspui/bitstream/1408/2282/2/A%20BS%2034%20Panorama-s%20C3%ADntese%20da%20avia%20C3%A7%20C3%A3o%20executiva%20a%20jato_P.pdf. Acesso: 10 mar. 2021.

MINISTÉRIO DOS TRANSPORTES, PORTOS E AVIAÇÃO CIVIL. **Plano aeroviário nacional 2018-2038:** objetivos, estratégias e investimentos para o desenvolvimento do transporte aéreo brasileiro. 2018. Disponível em: https://www.gov.br/infraestrutura/pt-br/centrais-de-conteudo/pan2018_ebook.pdf. Acesso em: 29 mar. 2021.

OTTO AVIATION. **This changes everything.** 2021. Disponível em: <https://www.ottoaviation.com/>. Acesso em: 17 mar. 2021.

PENNA, J. A. MOREIRA. **Monitoramento da saúde e estimação da vida útil de baterias aeronáuticas de lítio-íon.** 2011. Dissertação (Mestrado Profissional em Engenharia Aeronáutica e Mecânica) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos/SP. Disponível em: <http://www.bditabib.ita.br/tesesdigitais/61442.pdf>. Acesso em: 29 abr. 2021.

PRASHANTH, P. et al. Post-combustion emissions control in aero-gas turbine engines. **Energy & Environmental Science**, v. 14, p. 916-930, February, 2021. Disponível em: <https://pubs.rsc.org/en/content/articlelanding/2021/EE/DOEE02362K#!divAbstract>.

RONIERI, A.; ESMANHOTO, L. G.; ALMEIDA, M. C. de. **Novas tecnologias em aviões e tráfego aéreo.** 2018. Disponível em: http://sectordialogues.org/documentos/proyectos/adjuntos/e78f3f_Estudo_Novas%20Tecnologias%20em%20Avi%C3%B5es%20e%20Tr%C3%A1fego%20A%C3%A9reo.pdf. Acesso em: 30 abr. 2021.

SANTOS, M. S. B. dos. **A evolução da frota brasileira de aeronaves da aviação geral.** 2003. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Instituto Tecnológico de Aeronáutica, São José dos Campos. Disponível em: <http://www.civil.ita.br/graduacao/tgs/resumos/2003/tg2003-06.pdf>. Acesso em: 10 mar. 2021.

SILVEIRA, F. L. da. **Densidade energética de baterias comparada com a da gasolina.** 2015. Disponível em: <https://cref.if.ufrgs.br/?contact-pergunta=densidade-energetica-de-baterias-comparada-com-a-da-gasolina>. Acesso em: 28 abr. 2021.

SOUSA, Rafaela. **Efeito estufa.** s.d. Disponível em: <https://brasilecola.uol.com.br/geografia/efeito-estufa.htm>. Acesso em: 15 abr. 2021.

SPIKE AEROSPACE. **The spike S-12 supersonic jet.** 2020. Disponível em: <https://www.spikeaerospace.com/>. Acesso em: 16 abr. 2021.

SYNERJET. **O jato super versátil.** 2021. Disponível em: <http://www.synerjet.com/pc-24.html>. Acesso em: 14 mar. 2021.

TEXTRON AVIATION. **Citation Cj4 Gen2.** 2021. Disponível em: <https://cessna.txtav.com/en/citation/cj4-gen2>. Acesso em: 15 mar. 2021.